

Cu²⁺胁迫对糯和非糯玉米生长发育的影响

郑爱珍

(商丘师范学院 生命科学系, 河南 商丘 476000)

摘要: 选择糯、非糯玉米种子, 在相同的 Cu²⁺ 浓度梯度下胁迫培养。结果表明: 低浓度的铜具有促进玉米种子萌发的作用, 50mg/L Cu²⁺ 处理浓度下二者的发芽势和发芽率均达到高峰, 随着 Cu²⁺ 处理浓度的加大, 2种玉米的发芽率和发芽势呈下降趋势; 20mg/L Cu²⁺ 处理浓度对2种玉米的根长、株高、地上部分和根的干重具有显著的抑制作用, 随着处理浓度的增加, 这种抑制效应更为明显; 随着处理浓度的增加叶绿素 a、b 和总叶绿素含量呈下降趋势, 而叶绿素 a/b 的比值却升高。研究发现: 在发育早期, 糯玉米对 Cu²⁺ 的敏感性强于非糯玉米, 非糯玉米对 Cu²⁺ 胁迫具有较强的耐受力和适应性。

关键词: Cu²⁺ 胁迫; 糯玉米; 非糯玉米

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2009)11-0059-05

Effects of Cu²⁺ Stress on Growth and Development of Glutinous and Non-glutinous Maize

ZHENG Ai-zhen

(Department of Life Science Shangqiu Normal University, Shangqiu 476000, China)

Abstract: The seeds of both glutinous and non-glutinous maizes were cultured under Cu²⁺ stresses with an identical gradient of Cu²⁺ concentration. The results showed that the lower Cu²⁺ concentration could promote the seed germination of maize, and the treatment with 50mg/L Cu²⁺ had the highest germination potential and germination rates for both maizes, but with the increase of Cu²⁺ concentration, the two characters presented a decreased trend. 20mg/L Cu²⁺ concentration could significantly inhibit the root length, plant height, dry matter weight (DW) of leaves and roots, and chlorophyll content. With the increase of Cu²⁺ concentration, the chlorophyll a, b and content dropped, but the a/b rate increased. Compared with glutinous maize, non-glutinous maize had narrow changing amplitudes for all indexes measured, demonstrating that it had stronger adaptation to Cu²⁺ stress than the former.

Key words: Cu²⁺ stress; Glutinous maize; Non-glutinous maize

随着工农业的发展, 污染已成为威胁人类生存的重大问题。尤其是各类工厂排放的大量废液, 流经河流之后, 一旦成为农业灌溉用水, 将会给农业生产带来极其严重的后果^[1]。不但危及农作物的正常生长, 如果通过食物链进入人体, 还会危及人类的健康。Cu²⁺ 是这些污水中的主要污染元素之一。

Cu²⁺ 是植物生长必需的微量元素, 对植物生长有着重要的作用, 它不但参与植物的光合作用, 还是多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶等各种酶类的组成成分^[2]。但是过量的 Cu²⁺ 会对植物产生毒害, 主要表现为使植物的水分代谢、光合作用、呼吸作用等各种生理代谢发生紊乱, 生长缓慢^[3]。玉米是我国北方重要的

收稿日期: 2009-06-27

基金项目: 河南省自然科学基金项目(0511030200); 河南省教育厅科技攻关项目(200510483005)

作者简介: 郑爱珍(1970-), 女, 河南睢县人, 副教授, 主要从事植物逆境生理生态的教学与研究。

粮食作物,比较研究 Cu^{2+} 胁迫对糯和非糯玉米种子的萌发及其生长的影响,无论是对糯和非糯玉米种质的理论研究,还是玉米良种的选育均能提供一定的理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

非糯玉米(*Zea mays* L),品种:豫玉3号(商丘市种子供应站);黑糯玉米(郑州市宝丰种子有限公司)。

1.2 设计与处理

选取籽粒饱满、胚无损伤、无虫蛀的非糯和糯玉米种子各500粒,分别用0.1% HgCl₂ 溶液表面消毒8min,无菌水清洗6次^[4],室温下浸种12h,25℃催芽,选取露白一致的玉米种子置入铺有双层滤纸、直径为12cm的带盖培养皿中,每个培养皿30粒,均匀摆放后加入处理液。设7个 Cu^{2+} 处理浓度:0mg/L、20mg/L、50mg/L、80mg/L、150mg/L、300mg/L、500mg/L(以 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 形式加入,以 Cu^{2+} 计)。每个处理设3次重复。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 Cu^{2+} 胁迫下糯和非糯玉米发芽势及发芽率测定^[5] 测定公式:

$$\text{发芽势} = (\text{3d的种子发芽数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽率} = (\text{7d的种子发芽数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

表1 Cu^{2+} 胁迫下糯玉米和非糯玉米的发芽率、发芽势

(%)

Cu^{2+} 浓度 (mg/L)	糯玉米		非糯玉米	
	发芽势	发芽率	发芽势	发芽率
0	83.10±1.17(100.00)i	83.44±1.15(100.00)f	85.13±1.12(100.00)g	85.30±1.60(100.00)e
20	84.65±1.10(101.87)h	88.11±1.01(105.60)c	86.90±1.11(102.79)e	89.80±1.21(105.28)b
50	89.55±1.23(107.76)b	90.65±1.24(108.64)b	90.63±1.03(106.46)a	91.97±1.09(107.82)a
80	88.15±0.15(106.08)d	88.40±1.06(105.94)cd	88.50±1.12(103.96)c	89.80±1.30(105.28)b
150	82.42±1.26(99.18)j	83.16±1.12(99.66)f	86.70±1.15(101.84)f	86.73±1.09(101.68)d
300	80.83±0.25(97.27)l	82.10±1.31(98.39)g	81.07±1.17(95.23)k	82.13±1.09(96.28)g
500	79.86±1.18(96.10)m	81.52±0.15(97.70)g	80.93±1.20(95.07)l	81.83±1.12(95.93)g

注:1.表中2种玉米相同的测定项目放在一起作比较,小写字母表示在0.05水平上差异显著;2.括号中的数字为处理占对照的百分比。下同

2.2 Cu^{2+} 胁迫对糯和非糯玉米根和茎形态指标的影响

植物在逆境胁迫过程中,根和茎的形态变化均能反映出胁迫的程度。通过试验观察,无论糯还是非糯玉米,随着 Cu^{2+} 处理浓度的增加,植株的根数越来越少,叶片的展开程度越来越小,根长和株高越来越短,有的根尖呈褐色,有干枯坏死现象。500mg/L的 Cu^{2+} 处理下,2种玉米植株叶均未展开,在叶基部还出现红褐色斑块,无根或根极短。由表2可以看出,20mg/L的 Cu^{2+} 处理浓度就已经对

1.3.2 Cu^{2+} 胁迫下糯和非糯玉米形态指标测定采用五点随机采样法^[6],每一培养皿随机抽取15株,用于根长、株高以及地上部干重的测定。105℃杀青10min,75℃烘干至恒重,用于根和地上部干重的测定。

1.3.3 Cu^{2+} 胁迫下糯和非糯玉米叶绿素含量的测定采用乙醇-丙酮法^[7,8]。分光光度法测定663nm、645nm处吸光值,乙醇-丙酮为空白。计算叶绿素a、b和叶绿素总量。

1.4 数据分析

利用SPSS软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 Cu^{2+} 胁迫对糯和非糯玉米发芽的影响

植物在逆境胁迫过程中,种子的发芽势、发芽率可以直接反映种子对逆境条件的适应力与抵抗能力。由表1看出,低浓度的 Cu^{2+} 能促进玉米种子的萌发,2种种子的发芽率和发芽势均在50mg/L Cu^{2+} 浓度下达到最大值,糯玉米为对照的108.64%和107.76%,非糯玉米为对照的107.82%和106.46%,50mg/L Cu^{2+} 浓度是促使玉米种子萌发的最理想的处理浓度。无论发芽势还是发芽率,非糯玉米均显著强于糯玉米,随着处理浓度的增加,其发芽势和发芽率均呈下降趋势。

玉米的生长起到了很强的抑制作用,非糯玉米的根长为对照的16.27%,平均株高为对照的41.17%,而糯玉米的根长只为对照的10.83%,但平均株高为对照的69.93%,说明 Cu^{2+} 对糯玉米根伸长的抑制作用强于非糯玉米,对非糯玉米地上部分生长的抑制作用要强于糯玉米,这可能是非糯玉米对 Cu^{2+} 有较强的适应性和耐受性,同时,非糯玉米对 Cu^{2+} 具有较强的转运能力,大量的 Cu^{2+} 离子被转运积累在地上部分,对地上部分的伸长生长起到了相对较强的抑制作用。

表2 Cu²⁺胁迫下糯玉米和非糯玉米的根长和株高

(cm)

Cu ²⁺ 浓度 (mg/L)	糯玉米		非糯玉米	
	根长	株高	根长	株高
0	13.57±0.32(100.00)b	7.25±0.76(100.00)b	16.04±0.24(100.00)a	13.19±0.62(100.00)a
20	1.47±0.10(10.83)f	5.07±0.42(69.93)d	2.61±0.29(16.27)c	5.43±0.78(41.17)c
50	0.79±0.04(5.82)g	4.46±0.19(61.52)f	2.08±0.19(12.97)d	4.49±0.52(34.04)e
80	0.68±0.09(5.01)i	4.03±0.45(55.59)g	1.61±0.14(10.04)e	3.73±0.28(28.28)h
150	0.50±0.04(3.68)k	2.78±0.22(38.34)i	0.71±0.18(4.43)h	2.72±0.44(20.62)j
300	0.45±0.06(3.32)l	2.32±0.24(32.00)k	0.52±0.05(3.24)j	2.14±0.20(16.22)l
500	0.23±0.01(1.69)n	1.13±0.28(15.59)m	0.28±0.02(1.76)m	0.93±0.08(7.05)n

2.3 Cu²⁺胁迫对糯和非糯玉米根和地上部分干重的影响

由表3、表4可以看出,不同的Cu²⁺处理浓度对非糯和糯玉米的根和地上部分有机物的积累均起到了很强的抑制作用。20mg/L的Cu²⁺处理浓度下,非糯玉米根的干重为对照的34.13%,地上部分干重

为对照的92.95%,而糯玉米根干重和地上部分干重分别为对照的24.53%和82.05%,随着处理浓度的增加,其抑制效应逐步增加;Cu²⁺对根的抑制作用大于对地上部分的抑制作用,其根冠比随着Cu²⁺处理浓度的增加呈下降趋势;同一处理浓度下,非糯玉米的根冠比大于糯玉米,糯玉米对Cu²⁺的敏感性较强,

表3 Cu²⁺胁迫下非糯玉米的根和地上部分干重

Cu ²⁺ 浓度(mg/L)	根干重(g/株)	地上干重(g/株)	根冠比
0	0.126±0.002(100.00)a	0.156±0.014(100.00)a	80.769(100.00)a
20	0.043±0.001(34.13)b	0.145±0.001(92.95)b	29.655(36.72)b
50	0.031±0.006(24.60)c	0.142±0.001(91.26)c	21.831(27.03)c
80	0.024±0.001(19.05)d	0.119±0.003(76.28)d	20.168(24.97)d
150	0.014±0.006(11.11)e	0.080±0.002(51.28)e	17.500(21.67)e
300	0.010±0.006(7.94)f	0.062±0.004(39.74)f	16.131(19.97)f
500	0.006±0.001(4.76)g	0.042±0.001(26.92)g	14.290(17.69)g

表4 Cu²⁺胁迫下糯玉米的根和地上部分干重

Cu ²⁺ 浓度(mg/L)	根干重(g/株)	地上干重(g/株)	根冠比
0	0.053±0.001(100.00)a	0.078±0.008(100.00)a	67.948(100.00)
20	0.013±0.002(24.53)b	0.064±0.002(82.05)b	20.310(29.89)
50	0.008±0.001(15.94)c	0.045±0.005(57.69)c	17.778(26.16)
80	0.005±0.004(9.43)d	0.036±0.002(46.15)d	13.889(20.44)
150	0.003±0.006(5.67)e	0.027±0.006(34.62)e	11.111(16.35)
300	0.002±0.003(3.77)ef	0.024±0.005(30.77)f	8.333(12.26)
500	0.001±0.001(1.87)f	0.013±0.001(16.67)g	7.692(11.32)

非糯玉米对Cu²⁺具有较高的耐性。

2.4 Cu²⁺胁迫对糯和非糯玉米叶绿素含量的影响

试验结果表明(表5、表6):随着Cu²⁺处理浓度的增大,糯和非糯玉米的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量均呈下降趋势,50mg/L Cu²⁺处理下,非糯玉米的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量分别是对照的

70.42%、61.70%和69.47%,而糯玉米的分别是61.02%、51.28%和63.92%。非糯玉米的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量的下降趋势缓于糯玉米。从0~500mg/L Cu²⁺处理浓度看,随着处理浓度的加大,叶绿素a/b的比值增大,不同浓度间呈显著性差异。叶绿素a/b的比值非糯玉米小于糯玉米。

表 5 Cu^{2+} 胁迫下非糯玉米的叶绿素(鲜重)含量

Cu^{2+} 浓度 (mg/L)	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	叶绿素总量(mg/g)	叶绿素 a/b
0	1.42±0.01(100)a	0.47±0.04(100.00)a	1.90(100.000)a	3.02(100.00)g
20	1.04±0.02(73.24)b	0.34±0.01(72.34)b	1.44(75.79)b	3.06(101.32)f
50	1.00±0.03(70.42)c	0.31±0.01(61.70)c	1.32(69.47)c	3.23(106.95)e
80	0.70±0.01(49.30)d	0.21±0.03(44.68)d	0.92(48.42)d	3.33(110.26)d
150	0.65±0.02(45.77)e	0.19±0.03(40.43)e	0.81(42.63)e	3.42(113.25)c
300	0.56±0.04(39.44)f	0.16±0.01(34.04)f	0.71(37.37)f	3.50(115.89)b
500	0.19±0.03(13.38)g	0.05±0.02(10.64)g	0.25(13.16)g	3.80(125.83)a

表 6 Cu^{2+} 胁迫下糯玉米的叶绿素(鲜重)含量

Cu^{2+} 浓度 (mg/L)	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	叶绿素总量(mg/g)	叶绿素 a/b
0	1.18±0.01(100.00)a	0.39±0.01(100.00)a	1.58(100.00)a	3.03(100.00)g
20	0.81±0.03(68.64)b	0.25±0.05(64.10)b	1.06(67.09)b	3.24(106.93)f
50	0.68±0.02(61.02)c	0.20±0.01(51.28)c	1.01(63.92)c	3.40(112.20)e
80	0.61±0.01(51.69)d	0.17±0.01(43.59)d	0.79(50.00)d	3.59(118.48)d
150	0.58±0.04(49.15)e	0.15±0.03(38.46)e	0.75(47.47)e	3.87(127.72)c
300	0.24±0.01(20.34)f	0.06±0.02(15.38)f	0.31(19.62)f	4.00(132.01)b
500	0.13±0.03(9.32)g	0.03±0.02(7.69)g	0.14(8.86)g	4.33(142.90)a

4 讨论

种子的发芽率不但与种子自身因素有关^[9], 外界因素的影响更大。若外界溶液的离子浓度过大, 势必通过水势的改变而影响到种子的吸涨作用及与代谢作用相连的渗透性吸水, 进而影响到胚的有氧呼吸作用、胚乳中的贮藏物质向可溶性物质的转化作用和可溶性物质的运输, 从而影响到种子的萌发, 使发芽率降低^[10]。低浓度的 Cu^{2+} 处理可以促进玉米种子的发芽, 在发芽阶段非糯玉米对高 Cu^{2+} 浓度的敏感性低于糯玉米, 50mg/L Cu^{2+} 浓度处理下, 二者的发芽率均达到最高点, 有助于种子的催芽。周桃花通过试验证明了合适的氯化钠浓度可以促进棉籽的萌发^[11], 孙小芳等也有类似的报道^[12]。

在逆境胁迫下, 根系往往是受害最深的器官^[13], 逆境胁迫下可以抑制根的生长, 同时也体现在根的数目、鲜重、干重、根的茁壮程度、须根数目等一系列形态指标上, 因此, 这些特征也是观察植物受胁迫程度的重要形态指标之一。本试验中, 随着 Cu^{2+} 处理浓度的增高, 非糯和糯玉米根和地上部分的一些形态指标均呈降低的趋势, 叶的展开度也随 Cu^{2+} 处理浓度的增高而出现下降现象。300mg/L、500mg/L 浓度的 Cu^{2+} 胁迫下出现了根部坏死的现象, 原因之一可能是因为外部环境水势过低, 造成根部细胞渗透性吸水困难, 细胞大量失水, 从而影响细

胞的正常生命活动^[10]。莫文红等也证明了高浓度离子胁迫可以使根部干枯致死的现象^[13]。500mg/L Cu^{2+} 处理浓度下, 在叶基部出现了红褐色斑块, 其原因可能与 Cu^{2+} 离子的积累有关, 具体原因尚需进一步探讨。茎和根的平均干重也随着 Cu^{2+} 处理浓度的增高而呈下降趋势, 这与植物生命活动随着 Cu^{2+} 处理浓度的增加而衰弱、根和叶的数目减少、植物茁壮程度下降、有机物积累量下降有关。非糯玉米在这些指标中不论在何种处理浓度下都高于糯玉米, 说明非糯玉米对 Cu^{2+} 具有更强的耐受能力。

叶绿素含量降低是重金属对植物伤害的另一项重要指标^[14], 随着 Cu^{2+} 处理浓度的加大, 叶绿素 a、b、叶绿素总量都有下降的趋势, 这与刁丰秋等得出的结果相似^[15]。据 Tomas 等报道: 用 12.5 μ mol/L Cu^{2+} 处理 *Mesemry allthrum crystallinum*, 其叶绿素含量下降了 80%^[16]。这不仅与叶绿素的合成量受阻有关, 同时与叶绿素的降解量的升高有很大关系^[17]。 Cu^{2+} 虽然是光合作用电子传递链中质体蓝素的重要构件, 在电子传递链中起决定作用, 但过量的 Cu^{2+} 也会抑制叶绿素的合成, 引起叶片失绿^[18], 进而影响植株的形态、生理发育。2007 年, 徐勤松等研究发现: 在高浓度 Cu^{2+} 胁迫下, 叶绿体片层排列扭曲, 膨胀成球形, 并且在极高浓度胁迫下, 叶绿体的部分被膜被断裂, 最后类囊体片层溶解, 叶绿体解体^[19]; 随着 Cu^{2+} 处理浓度的增高, 2 种玉米的叶

叶绿素 a/b 值有增大的趋势,这和 Carter 等的研究结果相似^[20],说明高浓度的 Cu^{2+} 胁迫对叶绿素 b 的破坏程度高于叶绿素 a。原因可能是在叶绿素合成过程中,叶绿素 b 是由叶绿素 a 进一步氧化生成的,叶绿素 a 分子向叶绿素 b 分子的转化速率相对恒定^[4],因此,叶绿素 a 的生成量就成为决定叶绿素 b 合成量的关卡,随着 Cu^{2+} 浓度的增高,植物体内过量的 Cu^{2+} 抑制叶绿素的合成,叶绿素 a 生成量减少,叶绿素 b 的生成量也会相应减少。有研究认为,盐胁迫处理可以提高叶绿素酶活性,该酶对叶绿素 b 的降解程度明显高于叶绿素 a 和类胡萝卜素的作用^[21];又有人认为,叶绿素 b 的降解途径之一是先降解成叶绿素 a^[22];还有人认为是由于植物体内积累过量的 Cu^{2+} 、培养液中又缺乏铁元素所致^[23]。糯玉米和非糯玉米叶绿素 a/b 值在 500mg/L Cu^{2+} 处理下均达到最大值,分别是 4.33 和 3.80,从非糯玉米的叶绿素 a/b 值明显低于糯玉米的也可以看出,非糯玉米叶绿素 b 的破坏程度小于糯玉米,非糯玉米对 Cu^{2+} 具有更强的耐受能力。

在本试验中,虽然得出非糯玉米对 Cu^{2+} 具有较高的适应性和耐受能力,但同时也看到了在高浓度 Cu^{2+} 胁迫下,非糯和糯玉米都会随着 Cu^{2+} 胁迫浓度的加大,其多项生长指标呈现下降的现象。因此,要想大幅度地提高粮食产量和质量,预防治理污染,坚持走可持续发展的道路尤其重要。

参考文献:

[1] 罗春玲,沈振国.植物对重金属的吸收和分布[J].植物学通报,2003,20(1):54-66.

[2] 常红岩,孙百晔,刘春生.植物铜素毒害研究进展[J].山东农业大学学报,2003,31(2):227-250.

[3] 江行玉,赵可夫.植物重金属伤害及其抗性机理[J].应用与环境生物学报,2001,1(7):92-97.

[4] 杨颖丽,张超强,李科文,等. NaCl 处理下两种补血草种子萌发和幼苗抗性研究[J].植物研究,2008,28(1):73-78.

[5] 肖昕,冯启言,季丽英.重金属 Cd、Cu、Zn 在小麦中富集特征的实验研究[J].农业环境学报,2006,25(5):1133-1137.

[6] 李春喜.生物统计学[M].北京:科学出版社,2005.

[7] 张致良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2004.

[8] 张致良,王丹,张冬雪,等.电子束辐射唐蒲菖球茎对

M1 叶片的影响初探[J].植物研究,2008,28(1):54-58.

[9] 陈莹,蔡霞,胡正海,等.水柴胡胚和胚乳的发育及其对种子萌发的影响[J].植物研究,2008,28(1):14-17.

[10] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2004.

[11] 周桃花. NaCl 胁迫对棉籽萌发及幼苗生长的影响[J].中国棉花,1995,22(4):21-22.

[12] 孙小芳,刘友良,陈沁.棉花耐盐性研究进展[J].棉花学报,1998,10(3):118-124.

[13] 莫文红,李懋学.镉离子对蚕豆根尖细胞分裂的影响[J].植物学通报,1992,9(3):30-34.

[14] Boswell C, Sharmu N C, Sahis V. Copper tolerance and accumulation potential of chlamydomonas reinardi[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2002, 69: 546-553.

[15] 刁丰秋,章文华,刘友良.盐胁迫对大麦叶片类囊体膜脂组成和功能的影响[J].植物生理学报,1997,23(2):105-110.

[16] Thomas J C, Malick F K, Endreszl C. Distinct response to copper stress in halophyte *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. Physiol Plant, 1998, 102: 360-368.

[17] Evakurth, Grantr, Cramer, et al. Effects of NaCl and CaCl_2 on cell enlargement and cell production in cotton root [J]. Physiol Plant, 1986, 82: 1102-1106.

[18] Van A F, Clijsters H. Effects of metal on enzyme activity in plants [J]. Plant Cell Environ, 1990 (13): 195-206.

[19] 徐勤松,施国新,许丙军,等. Cu、Zn 在黑藻叶片中的富集及其毒理学分析[J].水生生物学报,2007,31(1):5-8.

[20] Carter D R, Cheeseman J M. The effect of external NaCl on thylakoid stacking in lettuce plants [J]. Plant Cell Environ, 1993, 16(2): 215-223.

[21] 刘家尧,衣艳君,张其德.盐胁迫对不同抗盐性小麦叶片荧光诱导动力学的影响[J].植物学通报,1998,15(2):46-49.

[22] 杨晓棠,张昭其,徐兰英,等.植物叶绿素的降解[J].植物生理学通报,2008,44(1):7-9.

[23] Ernst W H O, Nelissen H J M, Ten Bookum W M. Combination to xicology of metal enriched soils; physiological responses of a Zn and Cu resistant ecotype of *slience villgaris* on polylnetallic soils [J]. Environ Exp Bot, 2000, 43: 55-71.